



(12)

## DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt : 91402655.4

(51) Int. Cl.<sup>5</sup> : G06F 15/70

(22) Date de dépôt : 04.10.91

(30) Priorité : 09.10.90 FR 9012446

(43) Date de publication de la demande :  
15.04.92 Bulletin 92/16

(84) Etats contractants désignés :  
DE GB IT NL

(71) Demandeur : THOMSON-CSF  
51, Esplanade du Général de Gaulle  
F-92800 Puteaux (FR)

(72) Inventeur : Thoreau, Dominique  
THOMSON-CSF, SCPI, Cédex 67  
F-92045 Paris la Défense (FR)  
Inventeur : Chevance, Christophe  
THOMSON-CSF, SCPI, Cédex 67  
F-92045 Paris la Défense (FR)

(74) Mandataire : Turlèque, Clotilde et al  
THOMSON-CSF SCPI  
F-92045 PARIS LA DEFENSE CEDEX 67 (FR)

(54) Procédé et dispositif de recalage d'images utilisant une corrélation de phase avec pondération pour déterminer un décalage.

(57) Le procédé de recalage selon l'invention met en oeuvre une corrélation de phase, c'est-à-dire une corrélation entre les transformées discrètes à deux dimensions d'une image de référence et d'une image courante normalisée par rapport à son module, puis une transformation de Fourier inverse de la matrice de corrélation obtenue pour trouver un pic de corrélation dans le domaine spatial des images, dans lequel, pour diminuer les effets du bruit dans ce traitement et renforcer les composantes moyennes, une fonction de pondération est appliquée à la matrice de corrélation dans le plan transformé avant d'effectuer la transformation de Fourier inverse.

L'invention s'applique au recalage en translation d'images notamment à celles obtenues par des capteurs en infrarouges.

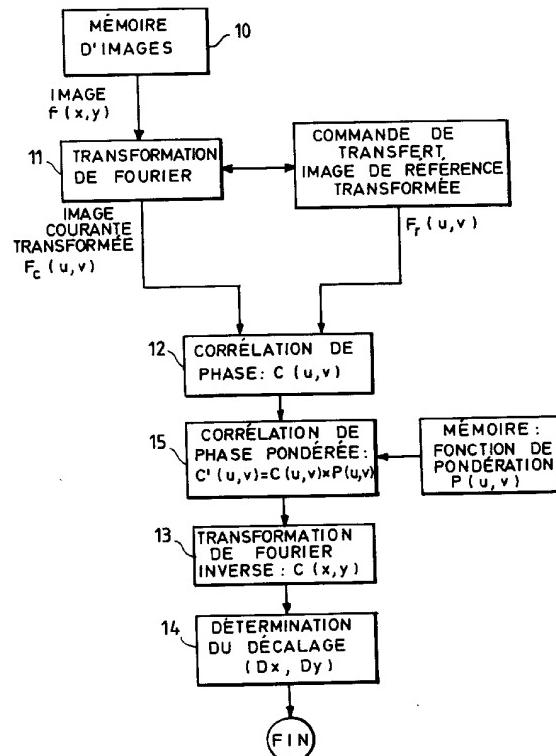


FIG. 1

L'invention se rapporte au traitement d'images et a plus particulièrement pour objet un procédé et le dispositif correspondant de recalage d'images utilisant la corrélation de phase avec pondération pour déterminer un décalage.

Les procédés de recalage d'images connus sont de près ou de loin basés sur une analyse globale des contours apparaissant dans les images et visent à déterminer un décalage général entre contours pour remettre en coïncidence ces contours associés aux mêmes objets de façon à recaler une image courante par rapport à une image de référence et à détecter ainsi dans l'image recalée les modifications éventuelles intervenues entre les deux images. Cette technique s'applique notamment aux traitements d'images obtenues à partir de capteurs infrarouges dans des applications à la surveillance par exemple.

Les méthodes les plus classiques de recalage d'images effectuent des traitements de corrélation entre les deux images mais ce type de méthode fait apparaître sur certaines des fréquences des pics de corrélation qui sont fonction de l'énergie. On connaît donc une méthode plus perfectionnée dite "méthode par corrélation de phase" qui est une méthode de recalage utilisant des transformations de Fourier, un peu semblable aux méthodes de corrélation classiques à la grosse différence près que chaque composante est normalisée par rapport à son module dans le domaine transformé de Fourier. Ainsi une composante de fréquence quelconque a la même importance que les autres pour l'obtention des pics de corrélation, quelles que soient les amplitudes respectives de ces composantes de fréquences. Un tel procédé de recalage d'images dit par corrélation de phase est décrit notamment dans le brevet français n° 88 14675 au nom de la Demanderesse.

Ce type de procédé de recalage a des performances convenables lorsque les images ne sont pas bruitées. Par contre, ce procédé perd de son efficacité en présence d'images de faible définition et fortement bruitées (par exemple images infrarouge).

L'invention a donc pour objet un procédé de recalage d'images mettant en oeuvre une corrélation de phase, mais adapté pour rendre plus robuste la technique de recalage. Pour cela, l'invention effectue une pondération du spectre de corrélation de façon à accroître l'influence de la zone spectrale susceptible de contenir les contours tout en réduisant l'influence du bruit. Ainsi la méthode de recalage correspondante est applicable aux images très bruitées ou n'ayant que très peu de définition, sans toutefois mettre en oeuvre des opérations compliquées de pré-traitement avant la corrélation.

Selon l'invention, un procédé de recalage d'images selon lequel une transformation de Fourier discrète à deux dimensions  $Fr(u,v)$  des valeurs de luminance  $fr(x,y)$  d'une image de référence ayant été effectuée au préalable, le procédé comporte :

- une étape durant laquelle une transformée de Fourier discrète à deux dimensions  $Fc(u,v)$  des valeurs de luminance  $fc(x,y)$  de l'image courante est effectuée
- puis une étape de calcul de la matrice de corrélation  $C(u,v)$  entre les transformées de Fourier de l'image de référence et de l'image courante, normalisées par rapport aux modules des coefficients obtenus
- puis une étape de calcul de la transformée de Fourier inverse de la matrice de corrélation faisant apparaître un pic de corrélation dans le domaine spatial  $(x,y)$  caractéristique d'un déplacement entre éléments d'images analogues, est caractérisé en ce que, avant l'étape de calcul de la transformée de Fourier inverse, la matrice de corrélation est pondérée par une fonction de pondération  $P(u,v)$  pour limiter l'influence du bruit et renforcer les valeurs moyennes dans lesquelles se trouvent la plupart des contours.

L'invention a également pour objet un dispositif de recalage d'images destiné à la mise en oeuvre de ce procédé.

L'invention sera mieux comprise et d'autres caractéristiques apparaîtront à l'aide de la description qui suit en référence aux figures annexées.

- La figure 1 est un schéma synoptique du procédé de recalage d'images selon l'invention ;
- Les figures 2a, 2b et 2c sont des schémas explicatifs de l'établissement de la fonction de pondération ;
- La figure 3 est un schéma représentant en trois dimensions la fonction de pondération appliquée à la fonction de corrélation dans le plan transformé ;
- La figure 4 est le même schéma à une échelle différente et pour 1/4 seulement du plan transformé.

Comme indiqué ci-dessus l'invention décrite ci-après met en oeuvre une version perfectionnée de la technique de corrélation de phase à deux dimensions, particulièrement destinée aux images de mauvaise qualité. Lorsqu'une méthode de recalage opère de façon globale sur les niveaux de gris, ce sont les contours même de faible amplitude qui permettent d'aboutir au déplacement vrai. Au moment où s'effectue l'opération de corrélation, il est intéressant d'une part de donner plus de poids aux zones de l'image qui sont supposées contenir ces contours, et d'autre part de réduire l'influence du bruit.

Dans la mesure où l'on procède par corrélation de phase, le spectre de la corrélation est facilement accessible. Cette approche est donc mise à profit dans la présente invention où une pondération du spectre de la corrélation est effectuée juste avant sa transformation de Fourier inverse. La description détaillée qui suit va permettre de mieux expliquer l'invention.

Si l'on se réfère à la figure 1 qui illustre le schéma synoptique de la corrélation avec la pondération du spectre de corrélation selon l'invention, il est possible dans un premier temps de repérer les étapes qui existaient déjà selon la méthode classique de recalage utilisant une corrélation de phase pour déterminer un décalage en translation après, avoir au préalable déterminé un angle de rotation. On pourra se référer à la demande de brevet français précitée n° 88 14675 pour une description détaillée de cette méthode incorporée à la présente description par référence. Ces étapes sont rappelées ci-après.

A partir d'une mémoire d'image 10 dans laquelle est mémorisée l'image dite courante, c'est-à-dire l'image à recaler par rapport à une image de référence, le procédé consiste dans une première étape 11 à appliquer la transformée de Fourier discrète à deux dimensions à l'image de référence d'une part et à l'image à recaler d'autre part. Ces images étant supposées constituées de NxM points, chaque coefficient transformé noté Fr(u,v) pour l'image de référence est égal à :

$$15 \quad Fr(u, v) = 1/N \cdot 1/M \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} fr(x, y) \cdot \text{Exp}(-2\pi j \cdot (xu/N + yv/M))$$

avec  $u = 0, \dots, N-1$   
et  $v = 0, \dots, M-1$   
20 et où  $fr(x,y)$  est la luminance du pixel de coordonnées  $(x,y)$  de l'image de référence.  
De même pour l'image courante, la transformée de Fourier de cette image courante notée  $Fc(u,v)$  est égale à :

$$25 \quad Fc(u, v) = 1/N \cdot 1/M \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} fc(x, y) \cdot \text{Exp}(-2\pi j \cdot (xu/N + yv/M))$$

30 où  $fc(x,y)$  est la luminance du pixel de coordonnées  $(x,y)$  de l'image courante.  
A partir de ces deux transformées de Fourier, une étape 12 consiste à calculer l'intercorrélation entre ces deux fonctions de la manière suivante :

$C(u, v) = (Fr(u, v) \cdot Fc^*(u, v)) / |Fr(u, v) \cdot Fc(u, v)|$ .  
où :  $Fc^*(u, v)$  est le complexe conjugué de  $Fc(u, v)$ .  
35 Comme indiqué ci-dessus, cette fonction de corrélation dite "de phase" est normalisée au niveau de ses composantes par rapport aux modules de ces dernières.

L'étape suivante 13 consiste alors à calculer la transformée de Fourier inverse à deux dimensions de la fonction d'intercorrélation  $C(u, v)$  telle que :

40  $c(x, y) = F^{-1}(C(u, v))$   
pour revenir au domaine spatial  $(x, y)$ ,  $c(x, y)$  étant le plan de corrélation contenant le ou les pics caractéristiques des décalages entre les deux images. La dernière étape 14 du procédé classique de corrélation consiste à estimer un vecteur de décalage de composantes  $dx$  et  $dy$  entre l'image de référence et l'image courante dans le plan de corrélation  $c(x, y)$ . Il est possible de noter que l'application d'une fenêtre de Hamming sur les deux images, image de référence et image courante, avant de calculer les transformations de Fourier discrètes peut avantageusement être effectuée.

45 Les étapes décrites ci-dessus sont reproduites dans le procédé selon l'invention mais à partir de la fonction d'intercorrélation  $C(u, v)$  des transformées de Fourier discrètes à deux dimensions de l'image de référence,  $Fr(u, v)$ , et de l'image courante,  $Fc(u, v)$ , une pondération de l'intercorrélation est effectuée dans une étape 15 par une fonction de pondération  $P(u, v)$  à deux dimensions appliquée à l'intercorrélation  $C(u, v)$  de la manière suivante :

$$C'(u, v) = C(u, v) \cdot P(u, v)$$

50 L'intercorrélation dans le domaine spatial est alors calculée par la transformée de Fourier inverse à deux dimensions de l'intercorrélation pondérée dans le domaine de Fourier  $C'(u, v)$ , le vecteur de décalage étant extrait de l'intercorrélation dans le domaine spatial de la même manière que dans l'art connu.

55 La fonction de pondération appliquée à l'intercorrélation est optimisée pour obtenir simultanément une réduction de l'influence du bruit et un renforcement des composantes à fréquences moyennes qui sont celles dans lesquelles apparaissent la plupart des contours. Pour cela, à titre d'exemple la pondération peut être calculée de la manière suivante :

$P(u,v)$  est construite à partir de fonctions de transfert de type filtres de Butterworth caractérisant respectivement un filtre passe-bas et un filtre passe-haut, de pseudo-fréquences de coupure convenables, une valeur résiduelle pour les basses fréquences étant conservée sous la forme d'un coefficient constant ajouté à la caractéristique du filtre passe-haut.

5 Les courbes représentées sur les figures 2a, 2b et 2c représentent respectivement, pour une dimension, les formes des courbes de réponse des filtres avec les pseudo-fréquences de coupure représentées par les coefficients  $D_1$  et  $D_2$  et la fonction de pondération résultant du produit de ces deux caractéristiques toujours sur les mêmes bases.

Sur la figure 2a a été représenté la courbe  $P_1(u)$  du filtre passe-haut avec une pseudo-fréquence de coupure égale à  $D_1$  et exprimée dans le plan  $(u,v)$  à deux dimensions par

$$P_1(u,v) = 0,25 + 0,75/\sqrt{1 + 0,414 \cdot D_1/D(u,v)^{2N_1}}$$

où  $D(u,v) = \sqrt{u^2 + v^2}$  et où  $N_1$  est un nombre.

A titre d'exemple  $D_1 = 5$  et  $N_1 = 2$ .

15 Sur la figure 2b a été représentée la courbe  $P_2(u)$  du filtre passe-bas avec une pseudo-fréquence de coupure égale à  $D_2$  et exprimée dans le plan  $(u,v)$  à deux dimensions par :

$$P_2(u,v) = 1/\sqrt{1 + 0,414 \cdot D(u,v)/D_2^{2N_2}}$$

où  $N_2$  est un nombre.

A titre d'exemple  $D_2 = 35$  et  $N_2 = 5$ .

20 La figure 3 illustre les coefficients de pondération dans le plan transformé pour une transformée de taille 128x128 points, la figure 4 illustrant la même fonction de pondération suivant 1/4 du plan transformé. Dans l'exemple illustré la zone spectrale permettant de privilégier la corrélation est comprise entre  $D_1 = 5$  et  $D_2 = 35$ ; mais d'autres valeurs peuvent être choisies dépendant du type de capteurs d'où sont issues les images, voire du contenu de l'image elle-même. Cette précision est donnée car il faut veiller lors du traitement à ne pas supprimer des zones spectrales qui sont susceptibles de contenir l'information nécessaire à l'estimation du ou des vecteurs de décalage.

Il résulte des explications indiquées ci-dessus que la fonction de pondération se présente pour le traitement sous la forme d'un tableau de nombres réels utilisés comme coefficients de la fonction de corrélation appliqués aux différents points du plan de corrélation en deux dimensions, ce tableau de nombres réels étant tel qu'en présence de transformées de tailles  $N \times M$ , la taille de la mémoire de stockage des coefficients pourra être de :

- $N \cdot (M/2+1)$  en tenant compte de la symétrie hermitienne ;
- $(N/2+1) \cdot (M/2+1)$  si la fonction d'intercorrélation est de plus de symétrie circulaire ;
- $(N/2+1) \cdot (M/4+1)$  avec une fonction de pondération de symétrie circulaire.

35 Il apparaît clairement de la description ci-dessus que la fonction de pondération appliquée à la fonction de l'inter-corrélation à deux dimensions décrite ci-dessus n'est qu'un exemple de réalisation et peut être adaptée, au contenu des images à traiter notamment.

Le dispositif de mise en oeuvre du procédé de recalage d'image selon l'invention est analogue à celui qui a été décrit dans la demande de brevet français n° 88 14675 au nom de la Demandante à ceci près qu'il comporte en outre une mémoire de stockage des coefficients de pondération telle que décrite ci-dessus.

40

## Revendications

1. Procédé de recalage d'images selon lequel une transformation de Fourier discrète à deux dimensions  $Fr(u,v)$  des valeurs de luminance  $fr(x,y)$  d'une image de référence ayant été effectuée au préalable, le procédé comporte :

45 – une étape durant laquelle une transformée de Fourier discrète à deux dimensions  $Fc(u,v)$  des valeurs de luminance  $fc(x,y)$  de l'image courante est effectuée  
 – puis une étape de calcul de la matrice de corrélation  $C(u,v)$  entre les transformées de Fourier de l'image de référence et de l'image courante normalisée par rapport aux modules des coefficients obtenus  
 – puis une étape de calcul de la transformée de Fourier inverse de la matrice de corrélation faisant apparaître un pic de corrélation dans le domaine spatial  $(x,y)$  caractéristique d'un déplacement entre éléments d'images analogues,

50 caractérisé en ce que, avant l'étape de calcul de la transformée de Fourier inverse, la matrice de corrélation est pondérée par une fonction de pondération  $P(u,v)$  pour limiter l'influence du bruit et renforcer les valeurs moyennes dans lesquelles se trouvent l'information de structure.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la fonction de pondération dans le plan transformé  $P(u,v)$  est telle qu'elle réduit l'influence des composantes de la matrice de corrélation associées à des nombres de points faibles, inférieurs à une première valeur  $D_1$ , d'une manière analogue à un filtrage passe-haut, et réduit très fortement l'influence des composantes de la matrice de corrélation associées à des nombres de points élevés, supérieur à une seconde valeur  $D_2$ , d'une manière analogue à une filtrage passe-bas, les composantes de la matrice associées à des nombres de points compris entre les deux paramètres  $D_1$  et  $D_2$  étant privilégiées.
- 5
3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que les paramètres de la fonction de pondération sont déterminés à partir des caractéristiques du capteur dont sont issues les images à traiter.
- 10
4. Dispositif de recalage d'images destiné à la mise en oeuvre du procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il comporte une mémoire PROM de stockage des coefficients de pondération formant la fonction de pondération  $P(u,v)$ .
- 15
5. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que, pour des images comportant  $N.M$  points, la taille de la matrice est limitée à  $N.(M/2+1)$ , en tenant compte de la symétrie hermitienne.
- 20
6. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que la taille de la matrice est limitée à  $(N/2+1).(M/2+1)$  en tenant compte de la symétrie hermitienne et lorsque la fonction de pondération est de symétrie circulaire.
- 25
7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que la taille de la matrice est limitée à  $(N/2+1).(M/4+1)$  en tenant compte de la symétrie hermitienne, lorsque la fonction de pondération est de symétrie circulaire.

30

35

40

45

50

55

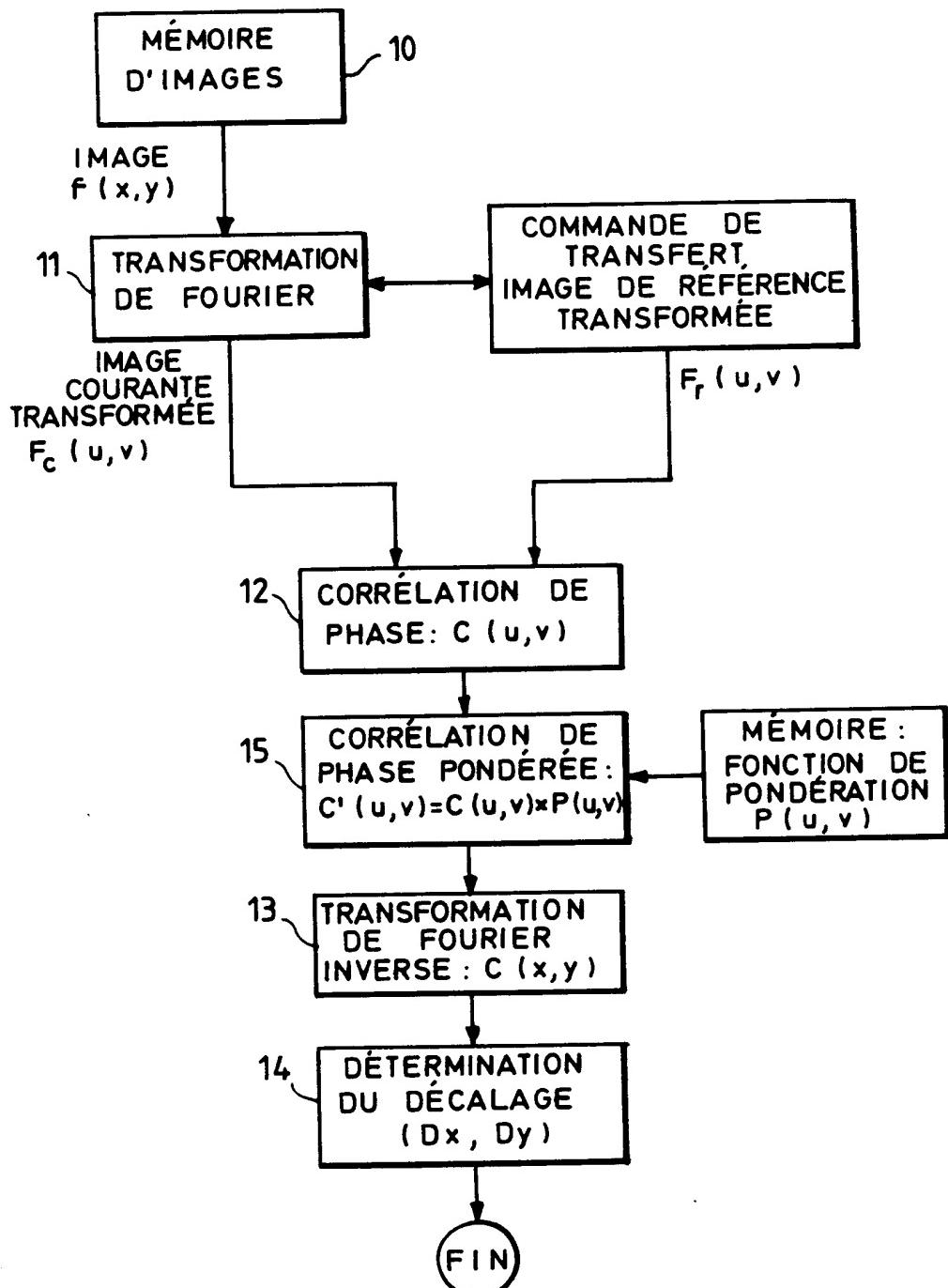
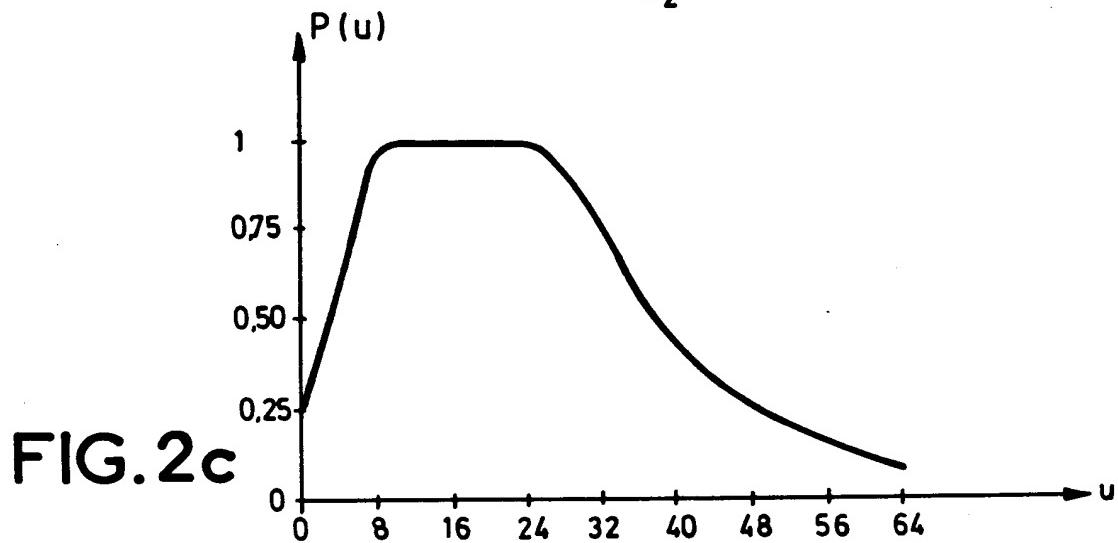
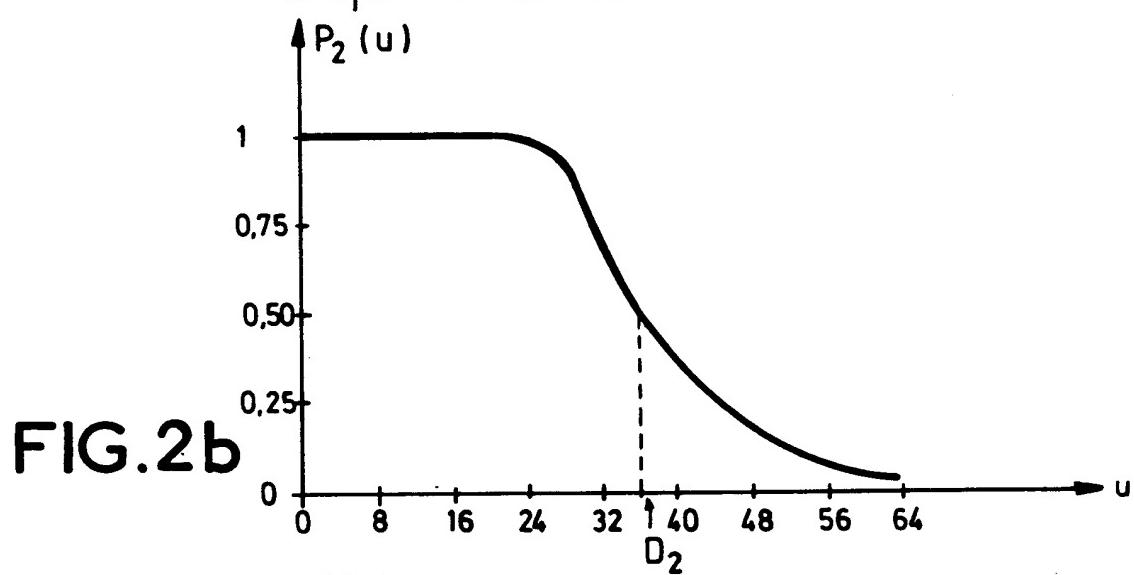
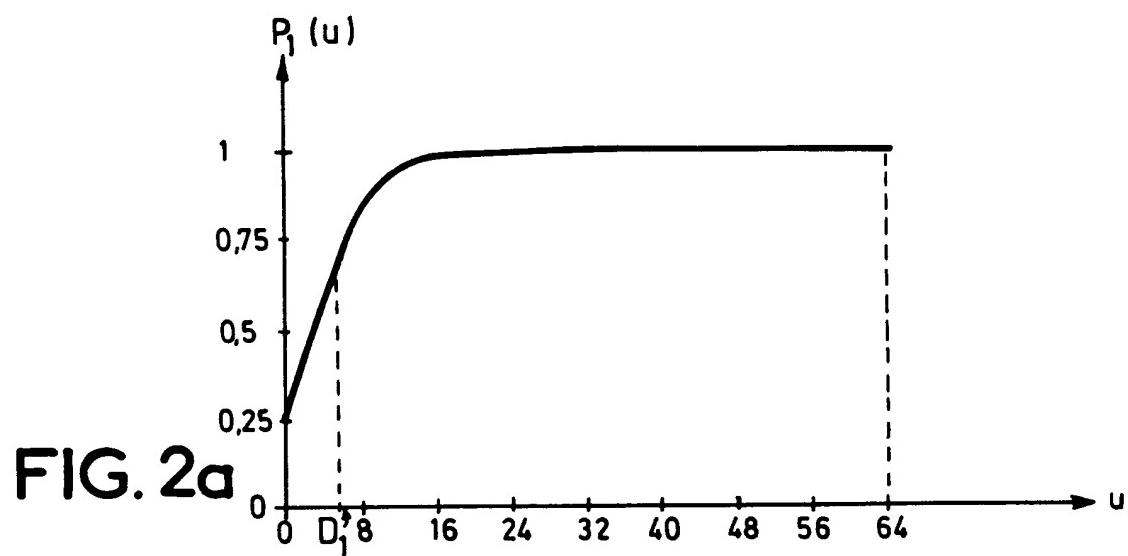


FIG. 1



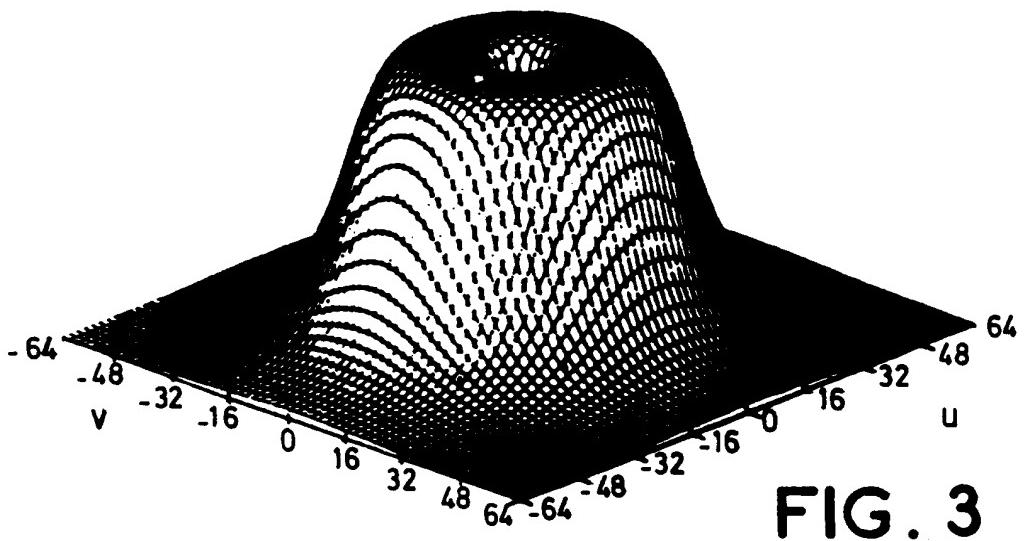


FIG. 3

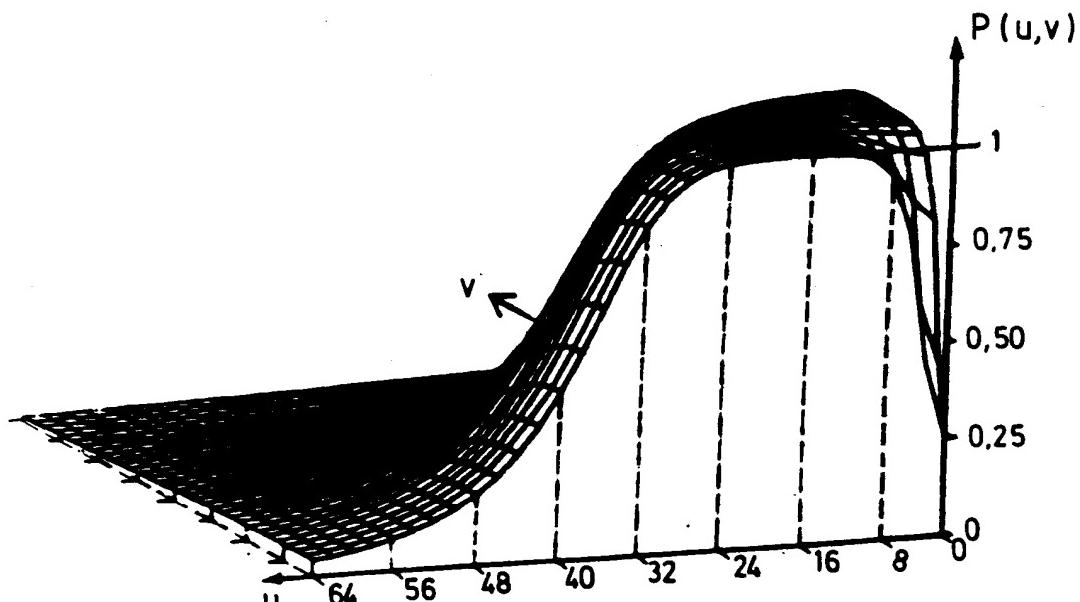


FIG. 4



Office européen  
des brevets

## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 91 40 2655

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.5)
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	
Y	GB-A-2 187 059 (BRITISH BROADCASTING CORPORATION ) * abrégé * * page 1 - page 3; figure 2 * ---	1,2	G06F15/70
Y	EP-A-0 348 207 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO, LTD.) * abrégé * * page 3, ligne 5 - ligne 45 * ---	1,2	
A	DE-A-2 700 397 (EMI LIMITED) * le document en entier * ---	1	
A	US-A-4 826 285 (J.L. HORNER) * abrégé * * colonne 3, ligne 14 - ligne 37 * * colonne 5, ligne 21 - colonne 6, ligne 37 * -----	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
			G06F
<p><b>Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications</b></p>			
Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examinateur	
LA HAYE	05 DECEMBRE 1991	CHATEAU J.P.	
<b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b>		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			